

STEEL WIRE ROD EXCELLENT IN FATIGUE CHARACTERISTIC AND WIRE DRAWABILITY AND ITS PRODUCTION

Publication number: JP2000178685

Publication date: 2000-06-27

Inventor: HIWATARI JUNICHI; HAMADA TAKANARI

Applicant: SUMITOMO METAL IND

Classification:

- **international:** C22C38/00; C22C38/54; C22C38/00; C22C38/54;
(IPC1-7): C22C38/00; C22C38/54

- **European:**

Application number: JP19980356428 19981215

Priority number(s): JP19980356428 19981215

[Report a data error here](#)

Abstract of JP2000178685

PROBLEM TO BE SOLVED: To suitably use the wire rod for wire ropes, valve springs, PC steel wires, steel codes or the like by allowing oxide inclusions in the longitudinal section in the longitudinal direction to have a specified amt. of SiO₂ and also controlling the density index of oxide inclusions detected in a specified area including all the regions of the cross-sectional width to the value equal to or below the specified one. **SOLUTION:** In the longitudinal section in the longitudinal direction of a wire rod, oxide inclusions of >=2 μm width contain SiO₂ of >=70 wt.% by the average compsn. Then, the density index f_{n1} expressed by the formula of oxide inclusions detected in the area with 55 mm² including all the regions in the cross-sectional width as the unit is controlled to >=50. In the formula, K_i denotes the coefficient in accordance with the class of the oxide inclusions, N_{ij} denotes the number of the oxide inclusions having a class in accordance with each K_i as to the sample of the (j)th, (i) denotes the class number of the oxide inclusions and the numbers of 1 to 7, and (j) denotes the sample number and the numbers of 1 to (n). The oxide inclusions preferably contain ZrO₂ of 0.1 to 10% by the average compsn. together with SiO₂.

$$f_{n1} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^7 (K_i \times N_{ij}) / \text{サンプル数}$$

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

【物件名】

刊行物3

刊行物
3

【添付書類】

11 158

(10)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-178685

(P2000-178685A)

(43)公開日 平成12年6月27日 (2000.6.27)

(51)Int.Cl.
C 22 C 38/00
38/54類別記号
301
38/00
38/54F I
C 22 C 38/00
38/54ナロード(参考)
301Y

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全11頁)

(21)出願番号 特願平10-358428

(71)出願人 住友金属工業株式会社

(22)出願日 平成10年12月15日 (1998.12.15)

大阪府大阪市中央区北浜4丁目6番33号

(72)発明者 植波 勝一

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72)発明者 長田 駿成

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友
金属工業株式会社小倉製鉄所内

(74)代理人 100103451

弁理士 森 道雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼線材とその製造方法

(57)【要約】

【概要】 ワイヤーロープ、糸ばね、懸吊ばね、P C 鋼線、
スチールコードなどの用途に好適な疲労特性及び伸縮加
工性に優れた鋼材とその製造方法の提供。【解決手段】 鋼線材の長手方向継ぎ断面において、幅2 mm
以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成が、重量%
で7.0%以上のSiO₂を含み、且つ、前記長手方向継
ぎ断面積全域を含む55 mm²を単位とする面積中に検出
される酸化物系介在物の密度指數が5.0以下である疲労
特性及び伸縮加工性に優れた鋼線材。

(2)

特開2000-178885

【特許請求の範囲】

【請求項1】鋼鉄材の長手方向断面において、幅 $2 \mu\text{m}$ 以上の碳化物系介在物が平均組成で、重量%で7.0%以上の SiO_2 を含み、且つ、前記長手方向断面積全

域を含む 5.5 mm^2 を単位とする面積中に検出される碳化物系介在物の下記①式で表される密度指標 f_{n1} が5.0以下である疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼鉄材。

【数1】

$$f_{n1} = \frac{\sum_{i=1}^{n1} (K_i \times N_{ij})}{\text{サンプル数}} \cdots \cdots \textcircled{1}$$

ここで、 K_i ：下記表に示す碳化物系介在物の階級（階）に応じた係数、

N_{ij} ： j 番目のサンプルに箇して各 K_i に対応する階級（階）

を有する碳化物系介在物の個数、

i ：碳化物系介在物の階級番号 ($i = 1 \sim 7$)、

j ：サンプル番号 ($j = 1 \sim n$)

である。

碳化物系介在物		係数
階級	幅 (μm)	K_i
1	2.0未満	0
2	2.0以上5.0未満	1
3	5.0以上7.5未満	2
4	7.5以上10.0未満	5
5	10.0以上15.0未満	10
6	15.0以上20.0未満	20
7	20.0以上	50

【請求項2】鋼鉄材の長手方向断面において、幅 $2 \mu\text{m}$ 以上の碳化物系介在物が平均組成で、重量%で7.0%以上の SiO_2 、0.1~1.0%の ZrO_2 を含み、且つ、前記長手方向断面積全域を含む 5.5 mm^2 を単位とする面積中に検出される碳化物系介在物の前記①式で表される密度指標 f_{n1} が5.0以下である疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼鉄材。

【請求項3】鋼の化学組成が重量%で、C: 0.45~1.1%、Si: 0.1~2.5%、Mn: 0.1~1.0%を含み、更に、 Zr : 0~0.1%、 Cu : 0~0.5%、 Ni : 0~1.5%、 Cr : 0~1.5%、 Mo : 0~0.5%、 W : 0~0.5%、 Co : 0~2.0%、 B : 0~0.0030%、 V : 0~0.5%、 Nb : 0~0.1%、 Ti : 0~0.1%を含有し、表面は Fe 及び不可逆不純物からなり、不純物中の P は0.020%以下、 S は0.020%以下、 Al は0.005%以下、 N は0.05%以下、 O （酸素）は0.0025%以下である請求項1又は2に記載の疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼鉄材。

【請求項4】転炉による一次精錬、二次精錬、連続鍛造プロセスで製造する請求項1~3のいずれかに記載の疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼鉄材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、疲労特性及び伸縮

加工性に優れた鋼鉄材とその製造方法に関し、詳しくは例えば、ワイヤロープ、井ばね、懸架ばね、PC鋼線、ステールコードなどの用途に好適な疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼鉄材とその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ワイヤロープ、井ばね、懸架ばね、PC鋼線などに用いられる鋼鉄材（以下、「鋼鉄材」）を単に「線材」という）には、熱間圧延後伸縮加工などの冷間加工、更に、焼入れ焼戻しの調質処理、あるいはブルーリング処理が施される。又、自動車のラジアルタイヤの補強材として用いられるステールコード用の線材は、線径（直径）約5.5 mmまで熱間圧延された後調整冷却され、1次伸縮加工、バテンティング処理、2次伸縮加工、最終バテンティング処理を受け、更にその後でブルースマッキ処理、統いて最終形式伸縮加工を受ける。このようにして得られた粗細鋼線を更に捻り加工（捻糸加工）して複数本捻り合わせ、ステールコードが成形されている。

【0003】したがって、上記技術分野に属する線材には、優れた伸縮加工性と同時に優れた疲労特性が要求される。

【0004】近年、コスト合理化や地政環境問題などを背景に前記したワイヤロープ、井ばね、懸架ばね、PC鋼線やステールコードなど各種製品の軽量化に対する要

(3)

特開2000-178685

望がますます高まっており、高強度化への取り組みが活発に行われている。しかし、一般に鋼材は強度が高くなるほど伸縮加工性が劣化し、疲労強度に対する感受性が大きくなるので、前記した各種製品の素材用鋼材としては、特にその内部性状の優れたものが要求されるようになっている。

【0005】このため、伸縮加工性あるいは疲労特性を高める目的で、鋼の清浄性に着目した技術が開示されている。

【0006】例えば、第126回、第127回西山記念技術講座の第148～150ページには、介在物を熱間圧延時に塑性変形しやすい三元系の低融点合金鋼域に制御することで、延性介在物として無害化を図る技術が示されている。

【0007】特開昭62-99436号公報には、介在物の長さ(1)と幅(2)の比が $1/d \leq 5$ の延伸性の小さいものに限定し、介在物の平均的組成をSi:O₂:2.0～6.0%、Mn:O:1.0～8.0%で、更に、Ca:O:5.0%以下、Mg:O:1.5%以下の方又は両方を含むように制御した技術が開示されている。

【0008】特開昭62-99437号公報には、介在物の長さ(1)と幅(2)の比が $1/d \leq 5$ の延伸性の小さいものに限定し、介在物の平均的組成をSi:O₂:2.5～7.5%、Al:O₂:3.0%以下、Ca:O:5.0%以下、Mg:O:2.5%以下に制御した技術が開示されている。

【0009】上記2つの公報に開示された技術は、基本的に介在物の低融点化を図るという技術思想において前記の西山記念で報告された内容と同一であるが、介在物の組織制御を行うにあたり、Mn:OやMg:Oを含めた多元系で低融点化を図り、熱間圧延で十分延伸させ、冷間圧延あるいは伸縮で破碎させて微細に分散させることにより冷間加工性及び疲労特性の向上を図ろうとするものである。

【0010】しかしながら、介在物は界面エネルギーが

微小である。このため、介在物はガスブーリングやアーク式加熱方式を有する限りベ精錬などの二次精錬時から鉄造時において凝集化しやすく、鉄片表面で巨大介在物として残存する傾向がある。いったん巨大介在物が生じると、仮に介在物としての平均組成は同じであっても、図1に示すように同一介在物内の断面過程において不均一相を晶出する確度が高くなる可能性がある。したがって、上記各公報で提案された介在物組成、つまり介在物の平均組成に制御した場合であっても、巨大で不均一組成の介在物が晶出すると、その巨大介在物のうちで公報で提案された組成内の領域は軟質なため熱間圧延及び冷間圧延や伸縮で小型化するが、公報で提案された組成から外れる領域は大型のまま残存してしまうことがあって、伸縮加工性及び疲労特性を向上させるには限界があった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、その目的は、ワイヤロープ、弁ばね、軸承ばね、PC鋼線、スチールニードなどの用途に好適な疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼材とその製造方法を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記(1)～(3)に示す疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼材、及び(4)に示す鋼材の製造方法にある。

【0013】(1) 鋼材の長手方向断面において、幅 2 mm 以上の酸化物系介在物が平均組成で7.0%以上のSi:O₂を含み、且つ、前記長手方向断面積全域を含む 5.5 mm^2 を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の下記式で表される密度指標 $f_{n,1}$ が5.0以下である疲労特性及び伸縮加工性に優れた鋼材。

【0014】

【歴1】

(4)

特開2000-178685

$$T(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_i \times N_{ij}) / \text{サンプル数} \cdots \cdots \textcircled{①}$$

ここで、 K_i ：下記表に示す酸化物系介在物の階級（級）に応じた係数、
 N_{ij} ：j番目のサンプルに関して各 K_i に対応する階級（級）
 を有する酸化物系介在物の個数、
 i ：酸化物系介在物の階級番号（ $i = 1 \sim 7$ ）、
 j ：サンプル番号（ $j = 1 \sim n$ ）

である。

酸化物系介在物		係数
階級	幅 (μm)	K_i
1	2.0未満	0
2	2.0以上6.0未満	1
3	6.0以上7.5未満	2
4	7.5以上10.0未満	5
5	10.0以上15.0未満	10
6	15.0以上20.0未満	20
7	20.0以上	50

【0015】(2) 鋼材の長手方向横断面において、幅 $2 \mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物が平均組成で、重量%で7.0%以上のSiO₂、0.1~1.0%のZrO₂を含み、且つ、前記長手方向横断面幅全域を含む 5 mm^2 を単位とする面積中に検出される酸化物系介在物の前記①式で表される相対指数 $T(n)$ が5.0以下である疲労特性及び伸銳加工性に優れた鋼材。

【0016】(3) 鋼の化学組成が重量%で、C: 0.45~1.1%、Si: 0.1~2.5%、Mn: 0.1~1.0%を含み、更に、Zr: 0~0.1%、Cu: 0~0.5%、Ni: 0~1.5%、Cr: 0~1.5%、Mo: 0~0.5%、W: 0~0.5%、Co: 0~2.0%、B: 0~0.0030%、V: 0~0.5%、Nb: 0~0.1%、Ti: 0~0.1%を含有し、残部はFe 及び不可避不純物からなり、不純物中のPは0.020%以下、Sは0.020%以下、A1は0.005%以下、Nは0.005%以下、O(酸素)は0.0025%以下である上記(1)又は(2)に記載の疲労特性及び伸銳加工性に優れた鋼材。

【0017】(4) 軋削による一次精鍛、二次精鍛、連続鍛造プロセスで製造する上記(1)~(3)のいずれかに記載の疲労特性及び伸銳加工性に優れた鋼材の製造方法。

【0018】なお、本発明でいう鋼材の「長手方向横断面」(以下「L断面」という)とは、鋼材の圧延方向に平行に、その中心線を通りて切断した面をいう。又、介在物の「幅」とは、L断面における幅方向の最大長さのことを指す。介在物形態が粒形であった場合も、同一定義とする。

【0019】「鋼材」とは、棒状に熱間圧延された鋼で、コイル状に巻かれた鋼材を指し、所謂「バーインゴイル」を含むものである。

【0020】「二次精鍛」とは、ガスバーリングやアーケード加熱方式を有するよりペグ鍛法や真空脱ガス装置を使用する精鍛法を指す。

【0021】以下、上記の(1)~(4)に記載のものをそれぞれ(1)~(4)の番号という。

【0022】

【発明の実施の形態】本発明者らは、疲労特性及び伸銳加工性に優れた鋼材を提供することを目的として種々の調査、研究を行った。すなわち、鋼材中の酸化物系介在物の組成、サイズ、分布密度が疲労特性及び伸銳加工性に及ぼす影響について調査するために、種々の条件の下に試験炉で溶接し、二次精鍛して得た鋼塊を熱間鍛造して鋼片にし、次いで、圧延温度及び冷却速度を調整して直径5.5mmの鋼材に熱間圧延した。これらの鋼材に一次伸銳加工(仕上がり径(直徑)2.5mm)、一次バテンティング処理、二次伸銳加工(仕上がり径(直徑)1.2mm)を施した後、更に、最終バテンティング処理(950~1050°Cのオーステナイト化温度、560~610°Cの船浴温度)を施し、引き続きプラスチック処理を行ってから伸銳速度5.0m/分の条件で連続伸銳加工(仕上がり径0.2mm)を行った。

【0023】直徑5.5mmの鋼材については、そのL断面を鏡面研磨し、研磨面を被膜面としてEPMA装置で分析して幅が $2 \mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物の組成を測定するとともに、L断面幅全域を含む面積 5 mm^2 当たりの酸化物系介在物の幅と個数を倍率400倍で光学

(5)

特開2000-178685

顯微鏡観察して測定した。

【0024】直径0.2mmの鋼線については引張強度と疲労強度を測定した。なお、疲労強度は、温度が20～25°C、湿度が50～60%の条件下でハンター式回転曲げ疲労試験機を用いて10⁷サイクル試験して測定した。

【0025】直径0.2mmの鋼線を直径0.2mmの鋼線に直角に伸展した場合の断線指數(鋼線1トン当たりの断線回数(回/トン)) を求めて伸展加工性も調査した。

【0026】その結果、下記の知見が得られた。

【0027】(a) 鋼材のL断面において、幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成が、重量%で70%以上のSiO₂を含むもので、しかも、前記①式で表される酸化物系介在物の密度指數f_{n1}が50以下である場合には、その鋼材の疲労特性及び伸展加工性は良好である。

【0028】(b) 上記(a)において、幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成が、更に重量%で0.1～10%のZrO₂を含む場合には、その鋼材の疲労特性及び伸展加工性は極めて良好である。

【0029】図2、図3に前記の調査結果の一例を示す。これらの図は、重量%でのCとMnの含有量が、C(%) +0.2Mn(%) で0.82～0.88%の鋼を素材とし、L断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成がすべて重量%で70%以上のSiO₂を含む場合について整理したものである。図2は疲労強度と密度指數f_{n1}との関係を、図3は断線指數と密度指數f_{n1}との関係を示すもので、密度指數f_{n1}が50以下の場合には良好な疲労特性と伸展加工性が得られることが明瞭である。

【0030】本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0031】以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、成分(組成)含有量の「%」は「重量%」を意味する。

【0032】(A) 主成分の平均組成を規定する酸化物系介在物の幅
鋼材のL断面における幅2μm未満の酸化物系介在物は疲労特性及び伸展加工性にほとんど影響を及ぼさない。更に、上記した幅2μm未満の介在物は微小であるため、EPMA法など物理的な分析方法で組成分析を行うとマトリックス部が含まれてしまう場合があり、精度よく測定を行うことが困難である。したがって、鋼材のL断面における酸化物系介在物のうち主成分の平均組成を規定する介在物の幅を2μm以上とした。

【0033】(B) 鋼材のL断面における幅2μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成

成(以下、単に「平均組成」という) として、SiO₂を70%以上含むように規定する。これは、疲労特性や伸展加工性に影響を及ぼす酸化物系介在物を平均組成で前記の量のSiO₂を含むものとしておけば、L断面幅全域を含む面積5.5mm²当たり前記①式で表される酸化物系介在物の密度指數f_{n1}を50以下に調整することによって、従来採用されている技術のように低融点化を図らなくとも、他の酸化物系介在物の組成に拘わらず、図2、図3に一例を示したように、良好な疲労特性及び伸展加工性が得られるからである。

【0034】平均組成において、SiO₂が70%未満であると、鋼の表面粗さにおいて不均一相が発生し、たとえ前述したL断面幅全域を含む面積5.5mm²当たりの密度指數f_{n1}を50以下に調整しても、鋼材のL断面における幅1.5μm以上の酸化物系介在物によって疲労特性や伸展加工性が劣化する場合がある。したがって、平均組成におけるSiO₂を70%以上とした。なお、平均組成において、SiO₂が75%を超えることが好ましい。

【0035】本発明において、平均組成で0.1～1.0%の量のZrO₂を上記の量のSiO₂と複合して存在させると、SiO₂が繊維に分散し、L断面幅全域を含む面積5.5mm²当たりについての前記した密度指數f_{n1}の値が一層小さくなるので、伸展加工性や疲労特性が極めて良好になる。したがって、平均組成で70%以上のSiO₂と0.1～1.0%のZrO₂を含むようにするのがよい((2) の発明) 。平均組成におけるZrO₂は1.0%以上であることが好ましく、1.5%以上であれば一層好ましい。

【0036】なお、酸化物系介在物の組成を精度よく短時間で容易に測定するためには、例えば、鋼材から採取した試験片を鏡面研磨し、その研磨面を被検面としてEPMA装置で分析すればよい。

【0037】(C) 密度指數f_{n1}

良好な疲労特性と伸展加工性の実現のためにには、既に述べた平均組成で70%以上のSiO₂を含むばかりでなく、図2、図3に一例を示したように、L断面幅全域を含む面積5.5mm²当たりについて、前記①式で表される密度指數f_{n1}の値を50以下にする必要がある。ここで、①式における酸化物系介在物の幅に応じた係数C₁は、従来の基準に基づくものである。例えば、既に述べたとおり、L断面における幅2μm未満の酸化物系介在物は疲労特性及び伸展加工性にほとんど影響を及ぼさない。このため上記サイズの介在物に対する前記係数は0とした。一方、幅1.5～0.0μm以上の大きな介在物は疲労特性や伸展加工性に大きな影響を及ぼし、特に、幅2.0μm以上の介在物は疲労強度及び伸展加工時における断線の直接の起点となり、疲労特性及び伸展加工性を著しく劣化させる。このため、幅2.0～0μm以上の大きな介在物に対しては50という大きな係数を付与して

(6)

特願2000-178685

いる。

【0038】なお、例えば、転炉から連続鋳造の工程までに溶鋼中に投入又は混入するAl量を5g/トン以下に調整するとともに、溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のAl₂O₃量を1.0%以下とし、更に、二次精錬の工程以降で、溶鋼と接触するよりベ中スラグの最終設定CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲にすることによって、平均組成におけるSiO₂が7.0%以上で、L断面幅全塗を含む面積5mm²当たりについて、前記①式で表される密度指數f_{n1}の値を5.0以下にすることができる。又、例えば、転炉から連続鋳造の工程までに溶鋼中に投入又は混入するAl量を5g/トン以下に調整するとともに、溶鋼と接触する耐火物及びフラックス中のAl₂O₃量を1.0%以下とし、且つ、転炉から連続鋳造の工程までに溶鋼と接触する耐火物及びフラックスの1種以上に含まれるZrO₂の量を1~8.0%とし、更に、二次精錬の工程以降で、溶鋼と接触するよりベ中スラグの最終設定CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲にすることによって、平均組成におけるSiO₂が7.0%以上、ZrO₂が0.1~1.0%で、L断面幅全塗を含む面積5mm²当たりについて、前記①式で表される密度指數f_{n1}の値を5.0以下にすることができる。なお、Zrを添加する場合には、例えば、転炉出鋼時又は二次精錬時にZrを含む合金鉱を溶鋼に添加すればよい。

【0039】(1)及び(2)の発明に係る疲労特性及び伸縮加工性に優れた素材は、酸化物系介在物の主成分の平均組成と量及び前記した密度指數f_{n1}を規定するものであり、その素材となる鋼の具体的な化学組成や鋼の製造方法は特に限定する必要はない。しかし、疲労特性や伸縮加工性は、素材となる鋼の化学組成によつても大きく変化する。このため、(3)の発明においては、素材となる鋼の化学組成を下記のとおり規定する。

【0040】(D) 素材鋼の化学成分

C: 0.45~1.1%

Cは、強度を確保するのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.45%未満の場合には、ばねヤスチルコードなどの最終製品に高い強度を付与させることができない。一方、その含有量が1.1%を超えると熱間圧延後の冷却過程中に初析セメントイトが生成して、伸縮加工性が著しく劣化する。したがって、Cの含有量は0.45~1.1%とするのがよい。

【0041】Si: 0.1~2.5%

Siは、脱酸に有効な元素であり、その含有量が0.1%未満ではその効果を發揮させることができない。一方、2.5%を超えて過剰に含有させると、ペーライト中のフェライト相の延性が低下してしまう。なお、ばねにおいては、「耐へたり特性」が重要で、Siには「耐へたり特性」を高める作用もあるが、2.5%を超えて

含有させてもその効果は飽和してコストが嵩むし、脱酸を助長してしまう。したがって、Si含有量は0.1~2.5%とするのがよい。

【0042】Mn: 0.1~1.0%

Mnは、脱酸及び熱間加工性の向上に有効な元素であり、その含有量が0.1%未満ではこの効果を發揮させることができない。一方、1.0%を超えて過多に含有させると、偏析を生じやすくなり伸縮加工性及び疲労特性が劣化してしまう。したがって、Mnの含有量は0.1~1.0%とするのがよい。

【0043】素材の素材となる鋼は、更に下記の元素を含有してもよい。

【0044】Zr: 0~0.1%

Zrは添加しなくてもよい。添加すれば、既に述べた酸化物系介在物の主成分の平均組成を比較的容易に7.0%以上のSiO₂とすることができるほか、SiO₂を緻密に分散させるので、比較的容易に密度指數f_{n1}を所定の範囲に調整することができる。更に、オーステナイト結晶粒を緻密化させ、延性及び韧性を高める作用もある。しかし、0.1%を超えて含有させても前記の効果が発揮するのでコストが嵩む。したがって、Zrの含有量は0.1%以下とするのがよい。なお、Zr含有量は、酸化物系介在物の平均組成においてZrO₂を0.1%含む場合の値以上とするのがよい。

【0045】Cu: 0~0.5%

Cuは添加しなくてもよい。添加すれば、耐食性を高める効果を発揮する。この効果を確実に得るには、Cuは0.1%以上の含有量とすることが望ましい。しかし、Cuを0.5%を超えて含有させると、結晶粒界に偏析し、焼境の分焼圧延時や素材の熱間圧延時における割れや鉄の発生が問題となる。したがって、Cuの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0046】Ni: 0~1.5%

Niは添加しなくてもよい。添加すれば、フェライト中に隣接してフェライトの塑性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Niは0.05%以上の含有量とすることが望ましい。しかし、その含有量が1.5%を超えると、焼入れ性が高くなりすぎてマルテンサイトが生成しやすくなり伸縮加工性が劣化する。したがって、Niの含有量は0~1.5%とするのがよい。

【0047】Cr: 0~1.5%

Crは添加しなくてもよい。Crはペーライトのラメラ間隔を小さくして熱間圧延後及びバテンティング後の強度を高める作用を有する。更に、伸縮加工時における加工硬化率を高める作用も有しているので、Crの添加によって比較的低い加工率でも高い強度を得ることができる。Crには耐食性を高める作用もある。こうした効果を確実に得るには、Crは0.1%以上の含有量とすることが望ましい。しかし、その含有量が1.5%を超えると、ペーライト変態に対する焼入れ性が高くなり過ぎ

(7)

特願2000-178685

てバテンディング処理が困難になる。したがって、Crの含有量は0~1.5%とするのがよい。

【0048】Mo: 0~0.5%

Moは添加しなくてもよい。添加すれば、熱処理で微細な炭化物として析出し強度と疲労特性を高める作用がある。この効果を確実に得るには、Moは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。一方、0.5%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Moの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0049】W: 0~0.5%

Wは添加しなくてもよい。添加すれば、Crと同様に伸線加工時の加工硬化率を顕著に高める作用がある。この効果を確実に得るには、Wは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.5%を超えると鋼の焼入れ性が高くなりすぎて、バテンディング処理が困難になる。したがって、Wの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0050】Co: 0~2.0%

Coは添加しなくてもよい。添加すれば、初折せメントタイトの析出を抑制する効果を有する。この効果を確実に得るには、Coは0.1%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、2.0%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Coの含有量は0~2.0%とするのがよい。

【0051】B: 0~0.0030%

Bは添加しなくてもよい。添加すれば、ペーライト中のセメントタイトの成長を促進させて、難材の延性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Bは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.0030%を超えると、温度や時間での加工時に割れが生じやすくなる。したがって、Bの含有量は0~0.0030%とするのがよい。

【0052】V: 0~0.5%

Vは添加しなくてもよい。添加すれば、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び韌性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Vは0.05%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.5%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Vの含有量は0~0.5%とするのがよい。

【0053】Nb: 0~0.1%

Nbは添加しなくてもよい。添加すれば、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び韌性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Nbは0.01%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.1%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Nbの含有量は0~0.1%とするのがよい。

【0054】Ti: 0~0.1%

Tiは添加しなくてもよい。添加すれば、オーステナイト結晶粒を微細化させ、延性及び韌性を高める作用を有する。この効果を確実に得るには、Tiは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、0.1%を超えて含有させても前記の効果は飽和し、コストが嵩むばかりである。したがって、Tiの含有量は0~0.1%とするのがよい。

【0055】不純物元素としてのP、S、Al、N及びO(酸素)はその含有量を下記のとおりにするのがよい。

【0056】P: 0.020%以下

Pは伸線加工における断線を誘発する。特に、その含有量が0.020%を超えると伸線加工時に断線が多くなる。したがって、不純物としてのPの含有量は0.020%以下とするのがよい。

【0057】S: 0.020%以下

Sは伸線加工における断線を誘発する。特に、その含有量が0.020%を超えると伸線加工時に断線が多くなる。したがって、不純物としてのSの含有量は0.020%以下とするのがよい。

【0058】Al: 0.005%以下

Alは、酸化物系介在物の生成主体となる元素で、疲労特性及び伸線加工性を劣化させる。特に、その含有量が0.005%を超えると疲労特性の劣化が大きくなる。したがって、不純物としてのAlの含有量は0.005%以下とするのがよく、0.004%以下とすれば一層よい。

【0059】N: 0.005%以下

Nは、酸化物系介在物となる元素であり、又盤時効によって延性及び韌性に悪影響を及ぼす。特に、その含有量が0.005%を超えると弊害が顕著になる。したがって、不純物としてのNの含有量は0.005%以下とするのがよく、0.005%以下とすれば一層よい。

【0060】O(酸素): 0.0025%以下

Oの含有量が0.0025%を超えると酸化物系介在物の数と幅が増大し、疲労特性が著しく劣化する。このため、不純物としてのOの含有量は0.0025%以下とするのがよく、0.0020%以下とすれば一層よい。

【0061】なお、(3)の基準のうちでも、特に、ばね及びスチールコードの用途に好適な素材鋼の化学組成は次に示すものである。

【0062】ばねの用途に対しては、鋼の化学組成が重要で、C: 0.45~0.70%, Si: 0.1~2.5%, Mn: 0.1~1.0%を含み、更に、Zr: 0~0.1%, Cu: 0~0.5%, Ni: 0~1.5%, Cr: 0~1.5%, Mo: 0~0.5%, W: 0~0.5%, Co: 0~1.0%, B: 0~0.0030%, V: 0~0.5%, Nb: 0~0.1%, Ti: 0~0.1%を含むし、残部はFe。及び不可避不純物からなり、不純物中のPは0.020%以下、Sは

(a)

特願2000-178685

0.020%以下、Alは0.005%以下、Nは0.005%以下、Oは0.0025%以下のものがよい。【0063】上記した鋼の化学組成の場合、熱処理後のはねに容易に1500 MPa以上の引張強度を付与できる。

【0064】ステールコードの用途に対しては、鋼の化学組成が重量%で、C: 0.60~1.1%, Si: 0.1~1.0%, Mn: 0.1~0.7%を含み、更に、Zr: 0~0.1%, Cu: 0~0.5%, Ni: 0~1.5%, Cr: 0~1.5%, Mo: 0~0.2%, W: 0~0.5%, Co: 0~2.0%, B: 0~0.0080%, V: 0~0.5%, Nb: 0~0.1%, Ti: 0~0.1%を含有し、残部はFe。及び不可避不純物からなり、不純物中のPは0.020%以下、Sは0.020%以下、Alは0.005%以下、Nは0.005%以下、Oは0.0025%以下のものがよい。

【0065】上記した鋼の化学組成の場合、0.15~0.35 mmまで複式押抜された鋼線に8200 MPa以上の大きな引張強度を付与できる。

【0066】(3) の発明に係る疲労特性及び伸縮加工性に優れた素材となる鋼の具体的な製造方法は特に限定する必要はない。しかし、鋼の溶製方法及び鍛造方法によって鋼の化学組成、特に不純物の含有量が変化するし、鍛造方法によって鋼塊の製造コストも変化する。このため、(4) の発明においては、素材の素材となる鋼の製造方法、なかでも溶製方法及び鍛造方法を下記のとおり規定する。なお、ここでいう「鋼塊」とはI S用語として規定されているように「錠片」を含むものである。

(E) 素材鋼の溶製方法及び鍛造方法

素材の素材となる鋼は、「転炉による一次精錬、二次精錬、連続鍛造プロセス」で鋼塊にするのがよい。転炉溶鋼、二次精錬の工程は、鋼中の不純物元素の低減に極めて有効で、更に、連続鍛造することによって製造コストを比較的低く抑えることができるからである。

【0067】なお、既に述べたように「二次精錬」とは、ガスバーリングやアーク式加熱方式を有するより精錬法や真空脱ガス装置を使用する精錬法を指す。

【0068】以下、実施例により本発明を詳しく説明する。

【0069】

【実施例】(実施例1) 表1に示す化学組成を有する鋼を試験炉で溶製し、Si・Mnで脱酸した後に二次精錬し、試験炉から連続鍛造の工程までに浴槽中に投入又は投入するAl量(以下、単に「混入Al量」という)、浴槽と接触する耐火物及びブラックス中のAl₂O₃量(以下、単に「ブラックス中のAl₂O₃量」という)、試験炉から連続鍛造の工程までに溶鋼と接触する耐火物及びブラックス中のZrO₂の量(以下、単に「ZrO₂量」という)、及び二次精錬工程以降で、溶鋼と接触するよりベ中スラグの最終設定CaO/SiO₂比(以下、単に「最終CaO/SiO₂比」という)を変化させて、酸化物系の介在物の組成が種々変わるようにして、連続鍛造を行った。

【0070】表1における鋼1~8は本発明例に係るものである。鋼5と鋼6は混入Al量を5 g/トン以下に調整するとともに、ブラックス中のAl₂O₃量を10%以下、最終CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲に調整し、その後連続鍛造した。鋼1~4及び鋼7、鋼8は混入Al量を5 g/トン以下に調整するとともに、ブラックス中のAl₂O₃量を10%以下、ZrO₂量を1~80%とし、更に、最終CaO/SiO₂比を0.8~2.0の範囲に調整し、その後連続鍛造した。

【0071】一方、鋼9~16は比較例に係るもので、混入Al量、ブラックス中のAl₂O₃量、ZrO₂量、最終CaO/SiO₂比のいずれか1つ以上を変化させたものである。具体的には、鋼13は最終CaO/SiO₂比を0.6とした。鋼14は混入Al量を7 g/トンとし、更に、ブラックス中のAl₂O₃量を13%とした。鋼9~12及び鋼15、鋼16はZrO₂量を1~80%としたほか、鋼9~12はそれぞれ最終CaO/SiO₂比を2.5、2.2、0.7、2.3とした。鋼15は混入Al量を7 g/トン、ブラックス中のAl₂O₃量を12%とし、更に、最終CaO/SiO₂比を0.6とした。鋼16は混入Al量を6 g/トン、ブラックス中のAl₂O₃量を13%とし、更に、最終CaO/SiO₂比を2.3とした。なお、鋼1と鋼9、鋼2と鋼10、鋼3と鋼11、鋼4と鋼12、鋼5と鋼13、鋼6と鋼14、鋼7と鋼15、鋼8と鋼16はそれぞれほぼ同一の化学組成になるよう調整した。

【0072】

【表1】

(9)

特願2000-178685

表 1

区分	化 学 组 成 (重量%) 鋼部: Fe 及び不純物								酸化物系介在物			D. 2 mm 鋼絲			
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	D	その他	SiO ₂	ZrO ₂	その他の (Fe, Ti) O _x	O _{MPa}	O _{MPa}	
1	0.61	0.10	0.70	0.010	0.008	0.002	0.0042	0.0020	Si: 0.08	20.5	2.5	17.2	20.1	4215	1200
2	0.77	0.10	0.15	0.013	0.012	0.008	0.0027	0.0018	Cr: 1.2, Mn: 0.15	25.3	3.3	11.4	20.6	3778	1100
本	0.85	0.42	0.45	0.006	0.025	0.101	0.0030	0.0019	V: 0.2, Ti: 0.10	20.5	1.7	17.5	20.0	3951	1100
例	0.95	0.16	0.30	0.007	0.007	0.361	0.0024	0.0016	Cr: 1.3, Mn: 0.08	20.5	0.7	22.7	23.0	4132	1350
例	0.83	0.17	0.51	0.008	0.025	0.001	0.0020	0.0017	Cr: 0.5, Si: 0.004, Ti: 0.05	22.0	0	18.0	41.3	3136	900
例	0.87	0.23	0.44	0.011	0.006	0.008	0.0020	0.0015	Mo: 0.15, V: 0.45	20.5	0	7.5	40.6	3077	1100
例	0.73	0.21	0.53	0.010	0.006	0.0021	0.0014	0.0014	Cr: 0.2, V: 0.40, Mo: 0.07	27.0	1.5	18.3	32.0	3045	1100
例	0.83	0.28	0.45	0.006	0.010	0.001	0.0020	0.0014	Zr: 0.02, Cr: 0.2	21.0	11.0	8.0	38.7	3053	1100
例	0.63	0.29	0.53	0.010	0.012	0.001	0.0027	0.0018	Mo: 0.07	20.5	0.9	32.7	23.8	4236	950
例	0.70	0.25	0.45	0.011	0.009	0.005	0.0020	0.0012	Cr: 1.2, Mo: 0.04	20.5	0.7	33.7	57.1	3550	700
比	0.84	0.43	0.47	0.007	0.005	0.001	0.0021	0.0018	V: 0.2, Ti: 0.10	20.5	1.5	25.1	62.4	3915	770
例	0.64	0.16	0.32	0.006	0.007	0.001	0.0020	0.0015	Cr: 1.8, Mn: 0.05	20.5	0.7	13.0	58.3	4176	840
例	0.84	0.18	0.33	0.010	0.006	0.001	0.0020	0.0016	Mo: 0.2, Cr: 0.004, Ti: 0.05	20.5	0	49.5	60.7	3219	840
例	0.87	0.22	0.45	0.006	0.006	0.002	0.0020	0.0014	Mo: 0.13, V: 0.50	20.5	0	82.2	55.0	4015	816
例	0.72	0.30	0.53	0.007	0.008	0.001	0.0020	0.0015	Cr: 0.2, V: 0.40, Mo: 0.08	27.0	10.5	52.0	56.9	3040	720
例	0.82	0.22	0.17	0.006	0.005	0.001	0.0020	0.0017	Zr: 0.02, Cr: 0.2	20.5	14.3	72.7	75.0	3772	760

酸化物系小粒子のその他のSiO₂, ZrO₂以外のものを含む。 *印は本発明で満足する条件から外れることを示す。

表 2

区分	断面指数 (回/トン)
1	0.2
2	0.1
3	0.1
4	0.1
5	0.4
6	0.5
7	0.2
8	0.4
9	7.5
10	11.5
11	13.3
12	9.3
13	17.4
14	20.5
15	12.0
16	18.8

【0073】上記のようにして各鋼を連続鍛造した後、通常の方法で直径5.5 mm の鋼材に、圧延速度及び冷却速度を調整しつつ熱間圧延した。これらの鋼材に一次伸線加工(仕上がり径(直徑) 2.8 mm)、一次バテンディング処理、二次伸線加工(仕上がり径(直徑) 1.2 mm)を施した。この後更に、最終バテンディング処理(950 ~ 1050 °C のオーステナイト化温度、560 ~ 610 °C の始溶温度)を施し、引き続きプラスめっき処理を行ってから伸線速度550 m/min の条件下盤式伸線加工(仕上がり径0.2 mm)を行った。

【0074】表1に、直徑6.5 mm の鋼材のL断面を鏡面研磨し、その研磨面を接触面としてEPMA装置で分析して粗が2 μm以上である50個の酸化物系介在物の平均粒度を測定した結果、L断面幅全域を含む面積5 mm²当たりの酸化物系介在物の粗と粗度を倍率400倍で光学顕微鏡観察して測定した結果、0.2 mm鋼線における引張強度と疲労強度を併せて示す。なお、疲労強度は、速度が2.0 ~ 2.5 °C、速度が50 ~ 60 %の条件でハンター式回転曲げ疲労試験機を用いて10°サイクル試験した場合の結果である。なお、酸化物系介在物の欄における「その他」とは、SiO₂, ZrO₂以外のものを指し、具体的にはAl₂O₃, MgO, MnOなどの酸化物系介在物である。

【0075】表1から、本発明例に係る鋼1 ~ 8の場合には、比較例に係る鋼9 ~ 16に比べて高い疲労強度を有していることが明らかである。

【0076】表2に、上記の各鋼について、直徑1.2 mmの鋼線を直徑0.2 mmの鋼線に盤式伸線した場合の断面指数(鋼線1トン当たりの断面面積(回/トン))を示す。

【0077】

【表2】

【0078】表2から、本発明例に係る鋼1 ~ 8の場合には、比較例に係る鋼9 ~ 16に比べて断面指数が低く、優れた伸線加工性を有していることが明らかである。

【0079】(実施例2) 表3に示す本発明に係る鋼1 ~ 23を転炉溶解、二次精練、連続鍛造プロセスで製造した。すなわち、転炉溶解し、Si, Mnで脱酸した後に二次精練し、転炉から連続鍛造の工程までに溶鋼中に投入又は混入するAl量を5 g/トン以下に調整するとともに、溶鋼と接触する耐火物及びフランクス中のAl₂O₃量を1.0 %以下とし、且つ、転炉から連続鍛造の工程までに溶鋼と接触する耐火物及びフランクス中のZrO₂の量を1 ~ 8 %、二次精練工程以降で溶鋼と接触するとりべ中スラグの最終設定CaO/SiO₂比を0.8 ~ 2.0 の範囲に調整し、その後連続鍛造した。

(10)

特開2000-178685

【0080】

【表3】

区分	化 学 成 分(重量%)								技術: Fe及び不純物
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	
17	0.77	0.29	0.42	0.008	0.006	0.001	0.0022	0.0017	—
18	0.78	0.22	0.40	0.008	0.006	0.001	0.0022	0.0016	—
19	0.80	0.22	0.53	0.005	0.004	0.001	0.0035	0.0019	Cr:0.05
20	0.85	0.21	0.52	0.009	0.007	0.001	0.0038	0.0017	—
例	21	0.87	0.20	0.50	0.008	0.006	0.001	0.0027	0.0018 Cr:0.03, Co:0.04, B:0.0010
	22	0.88	0.19	0.42	0.006	0.005	0.001	0.0030	0.0017 W:0.04, V:0.05, B:0.0010
	23	0.82	0.18	0.32	0.008	0.005	0.001	0.0029	0.0016 Cr:0.20, Co:1.0, Ni:0.1

【0081】上記の連続鍛造した各鋼を、通常の方法で直径5.5 mmの棒材に、圧延温度及び冷却速度を調整しつつ熱間圧延した。これらの棒材に一次伸線加工(仕上がり径(直徑)2.8 mm)、一次ペテンティング処理、二次伸線加工(仕上がり径(直徑)1.2 mm)を施した。この後更に、最終ペテンティング処理(950～1050 °Cのオーステナイト化温度、560～610 °Cの始浴温度)を施し、引き続ぎプラスめっき処理を行ってから伸線速度5.5 m/minの条件で温式伸線加工(仕上がり径0.2 mm)を行った。

【0082】表4に、直径5.5 mmの棒材のL断面を鏡面研磨し、その研磨面を被検面としてEPMA装置で

分析して幅が2 μm以上である50個の酸化物系介在物の平均組成を測定した結果、L断面幅全域を含む面積5.6 mm²当たりの酸化物系介在物の幅と個数を倍率4.00倍で光学顕微鏡撮影して測定した結果、0.2 mm鋼線における引張強度と疲労強度、及び直徑1.2 mmの鋼線を直徑0.2 mmの鋼線に温式伸線した場合の断線指數を示す。なお、疲労強度は、温度が20～25 °C、湿度が50～60 %の条件下でハンマー式回転曲げ疲労試験機を用いて10⁷サイクル試験した場合の結果である。

【0083】

【表4】

区分	酸化物系介在物			0.2mm断面		断線指數 (%)	
	組成割合(%)			引張強度 引張強度 (MPa)			
	SiO ₂	ZrO ₂	その他	(f n 1)	(MPa)		
17	74.0	0.0	17.0	42.3	3190	6.1	
18	82.1	1.8	15.6	47.1	3185	6.1	
19	82.0	1.8	15.1	32.9	3022	1210	
20	84.8	0.5	14.9	35.7	4055	1220	
例	21	70.3	2.5	20.2	20.1	4146	1220
	22	81.2	1.1	17.7	21.6	4170	1220
	23	80.8	2.7	7.5	30.8	4075	1220

酸化物系介在物のその他のSiO₂, ZrO₂以外のものを記す。

【0084】表4から、転炉による一次精錬、二次精錬、連続鍛造プロセスで製造した本発明例に係る鋼17～23はいずれも高い疲労強度と優れた伸線加工性を有していることが明らかである。

【0085】

【発明の効果】本発明の素材は疲労特性及び伸線加工性に優れるので、この素材を素材としてワイヤロープ、弁ばね、懸吊ばね、P.C.鋼線、スチールコードなどを高い生産性の下に提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】巨大で不均一組成の介在物が基出すると、その巨大介在物のうちで軟質な部分は熱間圧延及び冷間圧延や伸線で小型化するが、硬質の部分は大型のまま残存し

てしまふことを示す概念図である。

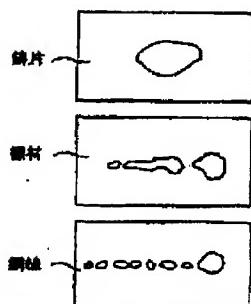
【図2】重量%でのCとMnの含有量が、C(%) + 0.2 Mn(%)で0.82～0.88 %の鋼を素材鋼とし、直徑5.5 mmの棒材のL断面における幅2 μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成がすべて重量%で7.0 %以上のSiO₂を含む場合の疲労強度と断線指數f n 1との関係を示す図である。

【図3】重量%でのCとMnの含有量が、C(%) + 0.2 Mn(%)で0.82～0.88 %の鋼を素材鋼とし、直徑5.5 mmの棒材のL断面における幅2 μm以上の酸化物系介在物の主成分の平均組成がすべて重量%で7.0 %以上のSiO₂を含む場合の断線指數と断線指數f n 1との関係を示す図である。

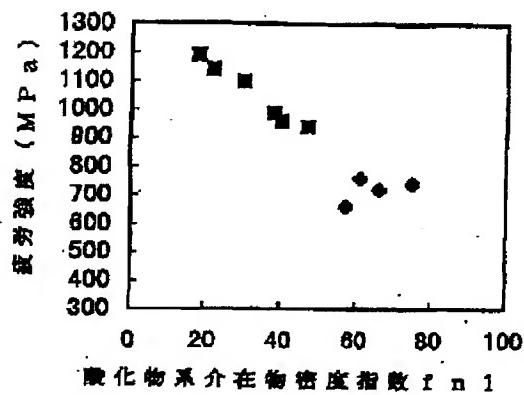
(11)

特願2000-178685

【図1】



【図2】



【図3】

